پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۱۰ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوم ۱۳۹۸، صفحهٔ ۱۹۲-۱۷۸
نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 178-192 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.69438

اثر کائولین، کیتوزان، کلریدکلسیم و سلنات سدیم بر رشد، اجزای عملکرد و عملکرد نخود زراعی تحت آبیاری تکمیلی

هومن محمدی[۱]، علی سپهری[۲]* و سیدحسین صباغ‌پور[۳]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، houmanagri1@gmail.com

۲- دانشیار زراعت، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۳- استاد پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران، sabaghpour@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۱

چکیده

کمبود آب آخر فصل، علت کاهش شدید عملکرد نخود در اکثر مناطق ایران است. تأثیر مواد کاهنده تعرق و تنش تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در رقم آزاد نخود طی آزمایشی مزرعه‌ای در دانشگاه بوعلی‌سینا در سال زراعی۹۴ -۱۳۹۳ بررسی شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. سطوح آبیاری شامل آبیاری در مرحله گلدهی، آبیاری در مرحله غلافدهی، آبیاری در مراحل (گل و غلاف) و بدون آبیاری در کرت‌های اصلی و مواد کاهنده تعرق (کائولین پنج‌درصد، کیتوزان ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر) و کاهنده‌های تنش (کلریدکلسیم پنج‌میلی‌مولار، سلنات سدیم ۴۰میلی‌گرم در لیتر) به همراه شاهد (بدون مصرف) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بررسی شدند. محلول‌پاشی کاهنده‌های تنش در دو مرحله قبل و بعد از گلدهی و محلول‌پاشی کاهنده‌های تعرق در مرحله غلاف‌بندی با غلظت‌های مذکور به‌طور جداگانه انجام شد. محلول‌پاشی کیتوزان و کلریدکلسیم در تیمار آبیاری مرحله گلدهی، صفات بیشینه سرعت رشد محصول، وزن۱۰۰دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت را به‌ترتیب ۵۹/۲، ۶/۴، ۱۰۶/۳، ۳۸/۴درصد و در تیمار آبیاری مرحله غلاف‌دهی به‌ترتیب ۷۲/۵، ۱۸/۶، ۱۹۱/۹ و ۵۹/۹درصد و در تیمار آبیاری گلدهی+ غلاف‌دهی به‌ترتیب ۱۰۶/۳، ۳۱/۴، ۳۱۲/۶ و ۸۴/۵درصد نسبت به شرایط دیم افزایش دادند. بنابراین در صورت وجود آب کافی، استفاده از دوبار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی و یا حداقل یک‌بار آبیاری در مرحله غلاف‌دهی به‌همراه محلول‌پاشی کیتوزان و کلریدکلسیم در افزایش عملکرد نخود رقم آزاد مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، سرعت رشد محصول، شاخص برداشت، کاهنده تعرق، کاهنده تنش

مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین بقولات دانه‌ای است که به‌دلیل اهمیت راهبردی آن در تولید پروتئین‌گیاهی در اکثر نقاط دنیا به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌شود. در این مناطق بارندگی اندک و تلفات تبخیری زیاد است. گیاهان در این مناطق همواره در وضعیت‌های طبیعی و زراعی با تنش خشکی مواجه می‌شوند. تنش خشکی آخر فصل، علت کاهش شدید عملکرد نخود در ایران و مناطق مشابه است که بسته به منطقه جغرافیایی و شرایط آب و هوایی در طول فصل رشد، ۳۰ تا ۶۰درصد عملکرد را کاهش می‌دهد (Kanouni, 2003) . با افزایش شدت تنش خشکی، مراحل نموی گیاه با سرعت بیشتری طی شده و تعداد روز تا گلدهی، غلاف‌دهی و رسیدگی کاهش می‌یابد .تنش خشکی ارتفاع گیاه را کم کرده و باعث کاهش سطح و وزن برگ‌های نخود می‌گردد (Gupta *et al*., 1993). ماده خشک تولیدی در نخود به توسعه سطح برگ، سرعت رشد محصول و رطوبت قابل دسترس در شرایط تنش وابسته بوده و کاهش عملکرد گیاه به‌دلیل اثر منفی کمبود آب بر سطح برگ، فتوسنتز و سرعت رشد محصول ناشی از تنش خشکی است (Saman *et al*., 2006).

اعمال آبیاری تکمیلی در مراحل رشد گیاه یک عامل مدیریتی برای بهبود، ثبات و در نهایت کاهش خطر افت محصول در شرایط تنش رطوبتی محسوب می‌شود. با اعمال آبیاری، افت شدید عملکرد گیاه در شرایط دیم کاهش می‌یابد. با عنایت به گستردگی سطح زیرکشت نخود و همچنین اهمیت اقتصادی آن، شناسایی تأثیر شیوه‌های نوین زراعی بر عملکرد

* نویسنده مسئول: sepehri2748@gmail.com

آن از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از راه‌های کاهش اثرات نامناسب تنش خشکی، کاستن از شدت تعرق گیاه است. برخی ترکیبات خروج بخار آب حاصل از بافت‌های درونی گیاه را محدود کرده و یا از طریق بستن نسبی روزنه‌ها و افزایش مقاومت به انتشار بخار آب از برگ‌ها، موجب حفظ پتانسیل آب در سلول‌های برگ می‌شوند (Liu *et al*., 2004).

کیتوزان یک ماده طبیعی است که عمدتاً از بقایای موجودات دریایی فرآوری می‌شود (Rinaudo, 2006). مشتقات آن، غیرسمی بوده و تجدیدپذیر در طبیعت می‌باشد. کیتوزان در برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی از جمله تحمل به عوامل نامساعد محیطی مؤثر بوده و تشدیدکننده مکانیزم‌های دفاعی گیاه است (Limpa-Navich *et al*., 2008). گزارش شده است که این ترکیب در افزایش محتوای کلروفیل، افزایش اندازه کلروپلاست و میزان فتوسنتز مؤثر می‌باشد (Zhang, 2005). در لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) کاربرد کیتوزان موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد ساقه، سطح برگ، سرعت رشد گیاه، وزن تر و خشک ساقه، میزان کلروفیل برگ، پروتئین دانه، تعداد غلاف در بوته و در نهایت عملکرد دانه تحت شرایط تنش آبی شده است (Abu- Muriefah, 2013; Yigitarslan, 2010). در ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* L.) نیز تحت شرایط دیم با کاربرد کیتوزان افزایش معنی‌داری در تعداد ساقه‌های فرعی، تعداد غلاف در گیاه، وزن دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت مشاهده شده است (Jan- Mohammadi *et al*., 2014).

کائولین نیز ماده‌ای است که فاقد اثرات مخرب زیست محیطی بوده و سوسپانسیون آن پس از قرارگرفتن در معرض هوا تبخیر شده و با تخلخل زیاد به‌عنوان محافظ روی برگ‌ها به صورت منفذدار تشکیل می‌شود. این ماده در بازتاب تشعشعات مازاد رسیده به برگ و در نهایت کاهش بارگرمایی برگ مؤثر است و موجب افزایش فتوسنتز خالص می‌گردد (Glenn & Puterka, 2005). گزارش شده است که محلول‌پاشی کائولین بر روی گیاه *Polianthes tuberosa* L. سبب انعکاس نور بیشتر از سطح برگ شده و از اکسیداسیون نوری و تجزیه کلروفیل کاسته است. همچنین در افزایش سطح برگ و سرعت رشد گیاه و در نهایت، پایداری عملکرد مؤثر بوده است (Moftah & Al- Humaid, 2005).

گزارش شده است که کلریدکلسیم نیز نقشی مهم در سازگاری سلول‌ها به تنش‌های غیرزیستی داشته و از طریق اثر بر جذب آب، رشد ریشه و حفظ فشار تورژسانس در سلول‌های گیاه سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و فتوسنتز می‌شود. کلریدکلسیم در تعداد زیادی از فرایندهای بیوشیمیایی به‌خصوص از طریق فسفریلاسیون پروتئین مشارکت داشته و نقش اصلی در عملکرد سلولی، هدایت سیگنالی، تأخیر در پیری، کاهش در ریزش گل و کنترل اختلالات فیزیولوژیکی ایفا می‌کند (Rab & Haq, 2012). یون کلسیم به‌عنوان یک پیام بر ثانویه در تعداد زیادی از سیستم‌های بیولوژیکی فعالیت داشته و به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی در اکثر مکانیزم‌های دفاعی دخالت می‌کند (Hasegawa *et al*., 2000; Jaleel *et al*., 2007). کلریدکلسیم در گیاه شبدر مصری (*Trifolium alexandrinum* L.) با افزایش سطح سبزینه و سرعت رشد گیاه، سبب افزایش تعداد گل‌آذین، عملکرد و اجزای عملکرد دانه شده است (Balwinder *et al*., 2013).

سلنات سدیم ترکیبی با نقش بیولوژیکی ویژه در گیاهان بوده که با پروتئین‌ها ترکیب شده و تولید موادی به نام سلنوپروتئین می‌کند که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله آن‌ها می‌باشند. این مواد در زمان تنش اکسیداتیو و تشکیل رادیکال های آزاد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش می‌دهند (Xue *et al*., 2001). سلنیوم از کاهش کلروفیل گیاه تحت شرایط تنش جلوگیری و سبب بهبود فتوسنتز و تأخیر در پیری برگ می‌شود. همچنین با افزایش جذب آب توسط سیستم ریشه موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود (Kuznetsov *et al*., 2003). سلنیوم تجمع محافظت‌کننده‌های اسمزی و مکانیزم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدآن‌ها را ارتقاء داده و سبب افزایش اجزای عملکرد، عملکرد دانه، شاخص برداشت و سرعت رشد در گندم شده است (Fahim-Nawaz *et al*., 2015). گزارش شده است که محلول‌پاشی سلنیوم در تنش آبی لوبیا، باعث افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد دانه و افزایش معنی‌دار در برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده است (Ilkaei *et al*., 2009).

هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر محلول‌پاشی کائولین، کیتوزان، کلریدکلسیم و سلنات سدیم به‌عنوان تشدیدکننده مکانیزم‌های دفاعی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی در شرایط کمبود آب بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد نخود زراعی رقم آزاد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی اکباتان واقع در همدان با عرض جغرافیایی ۳۴ ۳۴شمالی، طول جغرافیایی ۳۲ ۴۸شرقی و ارتفاع ۱۷۳۰متر از سطح دریا و در آب و هوای سرد و خشک کوهستانی در سال زراعی۹۴-۱۳۹۳ بر روی رقم آزاد نخود در دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. میانگین دما و

بارندگی طی ماه‌های اسفند تا تیر ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اکباتان در جدول۱ آمده است. چهار رژیم آبیاری شامل بدون‌آبیاری (دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، یک بار آبیاری در مرحله‌غلاف‌دهی و دوبار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی در کرت‌های اصلی و کاربرد مواد کاهنده تعرق شامل سه سطح عدم کاربرد، کائولین و کیتوزان به همراه مواد کاهنده تنش در سه سطح شامل عدم‌مصرف، کلریدکلسیم و سلنات سدیم به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی انجام گرفت. محلول‌پاشی کلریدکلسیم با غلظت پنج میلی‌مولار (Amuthavalli & Sivasankara- Moorthy, 2012) و سلنات سدیم با غلظت ۴۰میلی‌گرم در لیتر (Fahim-Nawaz *et al.*, 2015) در دو مرحله قبل و بعد از گلدهی بوته‌ها انجام شد. همچنین محلول‌پاشی کائولین با غلظت پنج‌درصد (Vito *et al.*, 2009) و کیتوزان با غلظت ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر با وزن مولکولی ۴۰۰کیلو دالتون (Abu- Muriefah, 2013) در مرحله غلاف‌بندی بوته‌ها انجام شد. در تمامی موارد از آب به‌عنوان حلال استفاده گردید و محلول‌پاشی با سمپاش دستی به‌طور جداگانه بر روی برگ‌های گیاه صورت گرفت.

پس از انجام عملیات تهیه زمین در پاییز بذور نخود در واحدهای آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به‌طول شش متر و فواصل ردیف ۳۰سانتی‌متر با تراکم ۳۱بوته در مترمربع در عمق پنج سانتی‌متری خاک در ۱۵اسفندماه کشت گردیدند. کلیه بذور قبل از کاشت با استفاده از قارچ‌کش بنومیل به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. بر اساس آزمایش خاک(جدول۲)، کود سوپرفسفات‌تریپل و اوره موردنیاز به ترتیب ۱۰۰ و ۵۰کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به کرت‌ها داده شد. کنترل علف‌های‌هرز از طریق وجین دستی صورت گرفت.

جدول ۱- میانگین دما و بارندگی در فصل رشد نخود در ایستگاه اکباتان در سال زراعی۹۴-۱۳۹۳

Table 1. Mean of temperature and precipitation in growth season of chickpea in Ekbatan station in 2015

ماه **Month**	میانگین درجه حرارت حداکثر (درجه سانتی‌گراد) **Mean of maximum temperature (c°)**	میانگین درجه‌حرارت حداقل (درجه سانتی‌گراد) **Mean of minimum temperature (c°)**	بارندگی **Precipitation (mm)**
February- March اسفند	12.33	-0.33	15.0
March- April فروردین	16.83	2.76	49.41
April- May اردیبهشت	24.67	6.86	4.2
May- June خرداد	32.39	11.36	0.2
June- July تیر	36.4	15.58	0.0

برای اعمال تیمارهای آبیاری، در هر مرحله، نمونه‌برداری خاک از عمق توسعه ریشه انجام و به مدت ۲۴ساعت در آون ۱۰۴درجه سانتی‌گراد خشک شد و درصد رطوبت وزنی موجود در خاک تعیین گردید. سپس عمق و حجم آب مورد نیاز تا رسیدن به ظرفیت مزرعه با توجه به وزن مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید (Benami & Ofen, 1984). کل آب مصرفی در تیمار بدون آبیاری (دیم) بر اساس رطوبت موجود در خاک و بارندگی در فصل زراعی و برای تیمارهای آبیاری، بر اساس موارد مذکور و آبیاری ثبت‌شده به وسیله کنتور حجمی، محاسبه شدند.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physicochemical properties of the soil at experiment location

عمق خاک **Depth soil (cm)**	هدایت الکتریکی **EC (ds/cm)**	واکنش خاک **pH**	آهک **T.N.V (%)**	نیتروژن **N (%)**	کربن آلی **O.C (%)**	فسفر **P (ppm)**	پتاس **K (ppm)**	شن **Sand (%)**	سیلت **Silt (%)**	رس **Clay (%)**	بافت خاک **Soil texture**
0-30	2.22	8.25	7.5	0.05	0.54	5.6	461	48.1	26.6	25.3	Clay- silt

اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی به روش تخریبی با نمونه‌برداری از پنج بوته در هر۱۰روز یک‌بار انجام شد. نمونه‌برداری از۴۰روز بعد از کاشت شروع و تا۱۱۰روز پس از کاشت ادامه یافت. سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج (Li-COR, model 3100, USA) اندازه‌گیری شد. اجزای بوته به مدت ۴۸ساعت در آون تهویه‌دار در دمای ۷۵درجه سانتی‌گراد خشک شد و با دقت یک‌صدم گرم توزین و وزن آن‌ها ثبت گردید. سپس شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت

رشد محصول (CGR) برای کل دوره رشد محاسبه و مقدار حداکثر آن‌ها مشخص گردید. در انتهای فصل رشد تعداد ساقه اولیه و ثانویه منشعب از ساقه اصلی در ۱۰بوته به‌طور تصادفی در هر کرت تعیین شد. در هنگام رسیدگی محصول، پس از حذف حاشیه‌ها از هر واحد آزمایشی، بوته‌های موجود در مساحتی به اندازه سه‌مترمربع برداشت شدند. سپس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه پس از جداسازی دانه‌ها از کاه اندازه گیری و از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک شاخص برداشت بر حسب درصد برای هر تیمار به‌دست آمد. تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته برای هر تکرار و تیمار به‌طور جداگانه شمارش و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. به منظور تعیین وزن ۱۰۰دانه، از محصول دانه هر واحد آزمایشی چهار نمونه ۱۰۰تایی شمارش و پس از توزین، میانگین وزن ۱۰۰دانه برای هر تیمار و تکرار به‌دست آمد. محاسبات آماری و تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver, 9.1) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد ساقه اولیه

تعداد ساقه اولیه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک‌درصد قرار گرفت (جدول ۳). بررسی اثر متقابل عوامل حاکی از افزایش نسبی تعداد ساقه اولیه در رژیم دوبار آبیاری، رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی یا غلاف‌دهی به همراه کاربرد کیتوزان و کلریدکلسیم به‌ترتیب ۲/۱، ۰/۸۸ و ۱/۵ساقه در بوته در مقایسه با بدون آبیاری است. بیشترین تعداد ساقه اولیه در رژیم دوبار آبیاری و با محلول‌پاشی کیتوزان و کاربرد کلریدکلسیم به‌دست آمد (جدول ۴). در رژیم بدون آبیاری نیز اثر مثبت محلول‌پاشی کیتوزان و کلریدکلسیم ملاحظه شد که تفاوتی با کاربرد سلنات سدیم و همچنین محلول‌پاشی کائولین و مصرف کلریدکلسیم نداشت. گزارش شده است که کاربرد کیتوزان بر روی ژنوتیپ‌های عدس نیز سبب افزایش تعداد ساقه اولیه در بوته شده است (Jan-Mohammadi *et al.*, 2014). از آنجا که در شرایط کمبود آب با کاهش هدایت هیدرولیکی و قابلیت اتساع دیواره سلولی از گسترش اندام‌های رویشی گیاه کاسته می‌شود، لذا تعداد ساقه‌های اولیه گیاه کم می‌گردد (Gupta *et al.*, 1993). در این آزمایش تعداد ساقه اولیه گیاه عمدتاً تحت تاثیر رژیم‌های آبیاری قرار گرفت، هرچند که محلول‌پاشی کیتوزان به همراه کلریدکلسیم نیز تا حدودی مؤثر بود که می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت مریستم زیر انتهایی ساقه و توسعه تقسیم سلولی باشد. افزایش تعداد ساقه‌های اولیه گیاه در گسترش کانوپی گیاه و بهره‌برداری از نور کافی و در نهایت افزایش شاخص سطح برگ گیاه تأثیرگذار است.

تعداد ساقه ثانویه

تعداد ساقه ثانویه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش و اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک‌درصد قرار گرفت (جدول ۳). با توجه به معنی دارشدن اثرات سه‌گانه، تفاوتی بین محلول‌پاشی کیتوزان با کاربرد سلنات سدیم و محلول‌پاشی کائولین با کاربرد کلریدکلسیم در رژیم دوبار آبیاری نبود و محلول‌پاشی کیتوزان با کاربرد کلریدکلسیم بیشترین تعداد ساقه ثانویه را در گیاه ایجاد نمود (جدول ۴). با کاربرد کیتوزان و کلریدکلسیم، افزایش تعداد ساقه ثانویه در رژیم دوبار آبیاری، رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مرحله گل‌دهی و یا غلاف‌دهی به‌ترتیب معادل ۳۲/۱، ۴/۳ و ۲۴/۶ساقه در بوته در مقایسه با بدون آبیاری بود. در رژیم یک‌بار آبیاری مرحله‌غلاف‌دهی و یا مرحله گلدهی نیز بیشترین تعداد ساقه ثانویه با محلول‌پاشی کیتوزان و کاربرد کلریدکلسیم و به دنبال آن محلول‌پاشی کیتوزان با کاربرد سلنات سدیم به‌دست آمد. قابل ذکر است که افزایش تعداد ساقه ثانویه با کاربرد کیتوزان در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی قبلاً گزارش شده است (Abu- Muriefah, 2013).

بدیهی است که طی تنش خشکی با کاهش وضعیت رطوبتی گیاه، رشد رویشی کوتاه شده و از گسترش تعداد ساقه های ثانویه جلوگیری می‌شود. به‌نظر می‌رسد علاوه بر اثرات مثبت محلول‌پاشی کیتوزان و یا کائولین با مواد کاهنده تنش در شرایط آبیاری مواد مذکور با بهبود نسبی پتانسیل رطوبتی در شرایط بدون آبیاری نیز با افزایش آماس سلولی سبب گسترش تعداد ساقه ثانویه شده‌اند. از آنجا که تعداد ساقه ثانویه همبستگی مثبت و معنی‌داری با اجزای عملکرد دانه به‌خصوص با تعداد غلاف در بوته دارد، لذا افزایش تعداد ساقه ثانویه می‌تواند عامل مهمی در جهت افزایش عملکرد گیاه باشد (Kanouni, 2003).

تعداد غلاف در بوته

تعداد غلاف در بوته به‌عنوان یکی از اجزای اصلی عملکرد دانه نخود تحت تأثیر رژیم آبیاری، مواد کاهنده تنش و تعرق و اثرات متقابل کاهنده‌های تنش و تعرق در سطح یک‌درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. همچنین اثرات متقابل رژیم آبیاری با مواد کاهنده تعرق و رژیم آبیاری با مواد کاهنده تنش و برهم‌کنش سه‌گانه آن‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح پنج‌درصد داشت (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات نخود رقم آزاد

Table 3. Analysis of variance (squares mean) in some of chickpea var. Azad traits

منابع تغییرات **S.O.V**		درجه آزادی **d.f**	تعداد ساقه اولیه **Primary stem number**	تعداد ساقه ثانویه **Secondry stem number**	تعداد غلاف در بوته **Pod per plant**	تعداد دانه در غلاف **Seed per pod**	وزن۱۰۰دانه **100 seed weight**	عملکرد دانه **Seed yield**	عملکرد بیولوژیکی **Biological yield**	شاخص برداشت **Harvest index**	بیشینه سرعت رشد گیاه **CGR max**	بیشینه شاخص سطح برگ **LAI max**
Replication	تکرار	2	0.88**	15.13**	9.75**	0.003*	0.16*	54529.43**	215184.26**	6.24**	0.21**	0.08**
Irrigation (I)	آبیاری	3	15.97**	667.02**	790.4**	0.01*	273.45**	9165285.9**	26876668.16**	2201.2**	195.04**	0.093**
Error 1	خطا (۱)	6	0.01	1.55	0.23	0.0006	0.03	4016	11523.48	0.57	0.001	0.0001
Transpiration alleviator (TA)	کاهنده تعرق	2	0.29**	1.66**	1.17**	0.001 n.s	0.50**	29072.97**	65366.75 n.s	6.48**	1.74**	0.04**
Stress ameliorator (SA)	کاهنده تنش	2	2.97**	75.21**	41.61**	0.001 n.s	11.59**	441280.02**	825967.10**	170.33**	34.87**	0.21**
TA×SA	کاهنده تعرق×کاهنده تنش	4	0.34**	7.11**	4.35**	0.0009 n.s	1.30**	54597.48*	125170.06**	14.80**	4.88**	0.01**
TA×I	کاهنده تعرق×رژیم آبیاری	6	0.02**	0.30**	0.21*	0.0005 n.s	0.08**	2040.12*	11934.10*	0.33*	0.91**	0.005**
SA×I	کاهنده رژیم ×تنش آبیاری	6	0.09**	9.79**	0.09*	0.0005 n.s	0.81**	7670.02*	94569.07**	5.99**	0.25**	0.01**
TA×SA×I	کاهنده تعرق×کاهنده تنش× آبیاری	12	0.02**	1.11**	0.09*	0.0004 n.s	0.13**	1972.79*	6782.14*	1.03*	0.57**	0.003**
Error 2	خطا (۲)	64	0.005	0.08	0.10	0.001	0.04	3738.77	29320.92	0.97	0.0007	0.0001
C.V (%)	ضریب تغییرات (درصد)		7.9	8.82	9.24	11.2	6.55	14.2	15.4	13.4	10.5	11.7

n.s، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵درصد و ۱درصد

ns: Non-significant, *and **: Significant at 0.05 & 0.01 probability, respectively

رژیم دوبار آبیاری و محلول‌پاشی کیتوزان با کاربرد کلریدکلسیم بیشترین تعداد غلاف در بوته را داشت (جدول ۴). محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم در رژیم مذکور نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی، غلاف‌دهی و بدون آبیاری به‌ترتیب ۵۴، ۲۳ و ۱۹۴درصد تعداد غلاف در بوته را افزایش داد. همچنین در رژیم یک‌بار آبیاری مرحله گلدهی با محلول‌پاشی کیتوزان و کلریدکلسیم نسبت به رژیم بدون آبیاری ۹۱درصد افزایش در تعداد غلاف در بوته مشاهده شد. در رژیم مذکور محلول‌پاشی کیتوزان به همراه کلریدکلسیم و یا سلنات سدیم و یا کاربرد انفرادی کلریدکلسیم اختلافی نشان ندادند. کمترین تعداد غلاف در بوته در رژیم بدون‌آبیاری به‌دست آمد. در این رژیم آبی تفاوتی بین محلول پاشی کیتوزان با کاربرد کلریدکلسیم و سلنات سدیم وجود نداشت. گزارش شده است که کیتوزان طی تنش خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی نیز سبب افزایش تعداد غلاف در بوته شده است (Farouk *et al*., 2013).

به‌نظر می‌رسد کیتوزان با بهبود شرایط آبی گیاه، انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها را به غلاف ها افزایش داده و از کاهش تعداد غلاف های تشکیل‌شده می‌کاهد (Abu- Muriefah, 2013). همچنین گزارش شده است که کاربرد کائولین به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌های گیاه لوبیا در مرحله رویشی موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می گردد (Yigitarslan, 2010). از سوی دیگر در شبدر مصری استفاده از کلسیم سبب افزایش تعداد غلاف در بوته شد. نقش کلسیم در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه اثبات گردیده است، لذا در بهبود عملکرد سلول مؤثر بوده و سبب ارتقاء اجزای عملکرد گیاه می‌شود (Balwinder *et al*., 2013).

جدول ۴- میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری، مواد کاهنده‌تعرق و تنش بر برخی صفات رقم آزاد

Table 4. Mean of interaction effects between irrigation regime, transpiration and stress alleviator substances in some of chickpea var. Azad traits

تیمار Treatment			تعداد ساقه اولیه Primary stem number	تعداد ساقه ثانویه Secondry stem number	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در غلاف Seed number per pod	وزن۱۰۰دانه (گرم) 100 seed weight (g)
I1	A1	F1	1.44 s	4.1 t	4.06 u	1.000 c	20.86 v
		F2	1.73 q	5.06 s	5.56 rs	1.013 bc	21.72 u
		F3	1.53 rs	4.97 s	4.86 t	1.005 bc	21.61 u
	A2	F1	1.50 rs	4.12 t	3.93 u	1.000 c	20.70 vw
		F2	1.85 pq	5.13 s	5.53 s	1.000 c	22.11 t
		F3	1.60 r	5.00 s	5.06 ts	1.020 bc	21.85 tu
	A3	F1	1.40 r	4.00 t	3.60 u	1.000 c	20.39 w
		F2	1.90 p	5.40 s	6.56 q	1.000 c	22.84 r
		F3	1.83 pq	5.16 s	6.10 rq	1.000 c	22.49 s
I2	A1	F1	2.20 n	7.76 q	10.90 n	1.024 bc	23.81 pq
		F2	2.50 kl	8.75 p	11.53 m	1.035 abc	24.00 nop
		F3	2.40 lm	8.26 q	11.46 m	1.002 bc	23.94 opq
	A2	F1	2.33 m	7.25 r	10.00 o	1.009 bc	23.76 pq
		F2	2.60 jk	8.93 op	12.03 lm	1.008 bc	24.20 no
		F3	2.43 lm	8.20 q	11.60 m	1.002 bc	23.93 opq
	A3	F1	2.03 o	6.87 r	9.30 p	1.006 bc	23.61 q
		F2	2.78 hi	9.70 n	12.50 kl	1.019 bc	24.31 n
		F3	2.63 ijk	9.26 no	11.96 lm	1.057 abc	24.13 nop
I3	A1	F1	2.70 hij	26.86 l	13.14 j	1.030 abc	26.17 lm
		F2	2.96 g	28.66 j	14.40 hi	1.048 abc	26.76 ij
		F3	2.84 h	27.35 kl	13.97 i	1.023 bc	26.40 kl
	A2	F1	2.53 kl	26.83 l	12.64 jk	1.017 bc	26.08 lm
		F2	3.20 e	28.73 j	14.56 gh	1.028 bc	26.90 ij
		F3	2.83 h	27.74 k	14.05 hi	1.030 abc	26.56 jk
	A3	F1	2.55 kl	25.92 m	11.92 lm	1.031 abc	25.93 m
		F2	3.43 d	30.06 h	15.60 f	1.036 abc	27.11 i
		F3	3.42 d	29.45 i	15.09 fg	1.060 abc	26.82 ij
I4	A1	F1	3.13 ef	32.30 f	17.23 d	1.065 abc	28.62 f
		F2	3.63 c	35.94 c	18.23 bc	1.042 abc	29.24 cd
		F3	3.41 d	34.44 e	17.79 c	1.076 ab	28.87 ef
	A2	F1	3.03 fg	31.51 g	16.83 de	1.051 abc	28.24 g
		F2	3.76 b	36.16 bc	18.66 b	1.043 abc	29.56 bc
		F3	3.40 d	34.96 d	18.22 bc	1.064 abc	29.13 de
	A3	F1	2.76 hi	29.03 ij	16.30 e	1.073 abc	27.49 h
		F2	4.00 a	37.50 a	19.35 a	1.065 abc	30.00 a
		F3	3.83 b	36.54 b	18.60 b	1.102 a	29.71 ab

I_1: عدم آبیاری، I_2: یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، I_3: یک‌بار آبیاری در مرحله غلاف‌دهی، I_4: دوبار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی

A_1: عدم محلول‌پاشی، A_2: محلول‌پاشی کائولین، A_3: محلول‌پاشی کیتوزان

F_1: عدم محلول‌پاشی، F_2: محلول‌پاشی کلریدکلسیم، F_3: محلول‌پاشی سلنات سدیم

- میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، در سطح احتمال ۵درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

I_1: No irrigation, I_2: One fold irrigation in flowering, I_3: One fold irrigation in podding, I_4: Two folds irrigation in flowering+podding
A_1: No spraying, A_2: Kaolin spraying, A_3: Chitosan spraying
F_1: No spraying, F_2: Chloride calcium spraying, F_3: Selenat sodium spraying
Means with similar letters in each column are not significantly different at the 5% level (Duncans MRT).

جدول ۵- میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش بر برخی صفات نخود رقم آزاد

Table 5. Mean of interaction effects between irrigation regime, transpiration and stress alleviator substances in some of chickpea var. Azad traits

تیمار			عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (Kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	بیشینه سرعت رشد گیاه (گرم بر متر مربع در روز) CGR max (g/m^{2}day)	بیشینه شاخص سطح برگ LAI max
		F1	265.30 st	1117.82 lm	23.70 uv	5.65 a	0.86 u
	A1	F2	382.63 rq	1467.76 jk	26.03 rst	6.06 y	0.95 s
		F3	331.17 rst	1355.03 kl	24.53 tuv	5.45 b	0.91 t
		F1	254.52 st	1038.20 m	24.51 tuv	5.27 c	0.86 u
I1	A2	F2	382.46 rq	1466.69 jk	26.04 rst	6.70 v	0.96 s
		F3	352.68 rs	1409.08 jkl	25.00 stu	5.77 z	0.95 s
		F1	229.40 t	1002.17 m	22.89 v	3.11 d	0.81 v
	A3	F2	469.01 q	1717.78 j	27.26 r	6.62 w	1.01 r
		F3	428.85 rq	1608.25 jk	26.69 rs	6.54 x	1.00 r
		F1	831.33 no	2488.57 ghi	33.48 op	7.48 t	1.14 mn
	A1	F2	895.27 lmn	2516.94 ghi	35.57 mn	8.72 p	1.17 kl
		F3	860.56 mn	2472.00 ghi	34.81 no	7.54 s	1.08 p
		F1	750.13 op	2345.28 hi	32.01 pq	7.24 u	1.04 q
I2	A2	F2	918.03 lmn	2501.01 ghi	36.70 lm	8.66 q	1.20 j
		F3	870.07 mn	2452.66 hi	35.44 mn	8.47 r	1.13 n
		F1	690.80 p	2201.61 i	31.43 q	7.56 s	1.10 o
	A3	F2	967.67 klm	2565.00 gh	37.73 kl	10.45 k	1.28 hi
		F3	952.84 klm	2631.85 efgh	36.22 lmn	8.68 pq	1.18 k
		F1	1108.09 ij	2793.61 cdefg	39.69 hij	8.93 o	1.11 o
	A1	F2	1262.73 gh	3024.10 bc	41.75 fg	10.94 j	1.36 e
		F3	1179.50 hi	2889.75 bcdef	40.89 ghi	9.32 n	1.22 j
		F1	1047.67 jk	2674.00 defgh	39.23 ijk	9.45 m	1.17 kl
I3	A2	F2	1260.61 gh	2955.33 bcd	42.62 efg	11.44 g	1.34 f
		F3	1201.94 hi	2908.14 bcde	41.34 fgh	10.26 l	1.15 lm
		F1	996.41 kl	2585.71 fgh	38.56 jk	8.48 r	1.14 mn
	A3	F2	1369.29 f	3139.86 b	43.61 de	11.42 g	1.43 c
		F3	1340.99 fg	3133.66 b	42.81 ef	11.03 i	1.27 i
		F1	1642.51 cd	3727.19 a	44.08 de	11.43 g	1.31 g
	A1	F2	1737.70 bc	3595.47 a	48.31 b	12.18 e	1.33 f
		F3	1731.78 bc	3836.36 a	45.16 cd	11.69 f	1.27 i
		F1	1561.86 de	3688.36 a	42.34 efg	11.15 h	1.30 gh
I4	A2	F2	1798.64 b	3729.33 a	48.26 b	12.72 b	1.41 d
		F3	1765.49 b	3800.87 a	46.43 c	12.27 d	1.36 e
		F1	1503.57 e	3647.63 a	41.23 fgh	10.29 l	1.31 g
	A3	F2	1934.62 a	3843.60 a	50.32 a	13.66 a	1.54 a
		F3	1900.92 a	3892.07 a	48.87 ab	12.49 c	1.47 b

I_1: عدم آبیاری، I_2: یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، I_3: یک‌بار آبیاری در مرحله غلاف‌دهی، I_4: دوبار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی

A_1: عدم محلول‌پاشی، A_2: محلول‌پاشی کائولین، A_3: محلول‌پاشی کیتوزان

F_1: عدم محلول‌پاشی، F_2: محلول‌پاشی کلریدکلسیم، F_3: محلول‌پاشی سلنات سدیم

- میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، در سطح احتمال ۵درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

I_1: No irrigation, I_2: One fold irrigation in flowering, I_3: One fold irrigation in podding, I_4: Two folds irrigation in flowering+podding
A_1: No spraying, A_2: Kaolin spraying, A_3: Chitosan spraying
F_1: No spraying, F_2: Chloride calcium spraying, F_3: Selenat sodium spraying
Means with similar letters in each column are not significantly different at the 5% level (Duncans MRT).

تعداد دانه در غلاف

در این تحقیق تعداد دانه در غلاف برای رژیم آبیاری در سطح یک‌درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد، ولی بین مواد کاهنده تعرق و تنش و نیز اثرات متقابل آن‌ها اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). در بررسی رژیم‌های آبیاری، رژیم دوبار آبیاری نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی و بدون آبیاری، به‌ترتیب ۳، ۵ و ۶درصد در تعداد دانه در غلاف افزایش نشان داد (جدول ۴). رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی با غلاف‌دهی و نیز رژیم یک‌بار آبیاری مراحل گلدهی با بدون آبیاری تفاوتی در این صفت نشان ندادند. همچنین مواد کاهنده تعرق و تنش تأثیر قابل توجهی بر تعداد دانه در غلاف نداشتند (جدول ۴). اعمال رژیم آبیاری در مراحل گل و غلاف موجب افزایش فتوسنتز جاری در گیاه و به‌دنبال آن تولید مواد آسیمیلات بیشتر درسلول‌های مزوفیل برگ می‌شود که انتقال مواد فتوسنتزی از منبع توسط آوند آبکش را افزایش می‌دهد. با انتقال بیشتر ساکارز به اندام زایشی به‌خصوص کیسه جنینی تقسیم سلولی افزایش یافته و تعداد دانه در غلاف افزایش می‌یابد (Ahmadi & Siosemardeh, 2001).

وزن۱۰۰دانه

رژیم آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش و اثرات متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح یک‌درصد برای وزن۱۰۰دانه نشان دادند (جدول ۳). بیشترین وزن۱۰۰دانه در رژیم دوبار آبیاری با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم به‌دست آمد که تفاوتی با مصرف سلنات سدیم نداشت (جدول ۴). محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم در رژیم مذکور نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف دهی و بدون آبیاری به‌ترتیب ۱۱، ۲۳ و ۳۱درصد وزن۱۰۰دانه را افزایش داد. در رژیم بدون‌آبیاری نیز بیشترین وزن۱۰۰دانه با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم به‌دست آمد و پس از آن محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف سلنات سدیم بیشترین وزن۱۰۰دانه را داشت (جدول ۴). گزارش شده است که کاربرد کیتوزان تحت تنش خشکی در عدس (Jan- Mohammadi *et al*., 2014) و نیز کاربرد کائولین در لوبیا (Yigitarslan, 2010) سبب افزایش وزن۱۰۰دانه شده است. در تحقیق حاضر با کاربرد کیتوزان و کائولین رطوبت کافی در زمان پُرشدن دانه جهت پُرشدن دانه فراهم گردید که در افزایش وزن خشک دانه و در نهایت وزن۱۰۰دانه مؤثر بوده است. کاربرد کلریدکلسیم در شبدر مصری (Balwinder *et al*., 2013)، آفتابگردان (Nemat *et al*., 2011) در تنش خشکی سبب افزایش وزن۱۰۰دانه شده است. همچنین کاربرد سلنات سدیم در گندم (Fahim-Nawaz *et al*., 2015) و لوبیا (Habibi, 2013; Ilkaei *et al*., 2009) در افزایش وزن دانه تحت تنش خشکی مؤثر واقع شده است. محدودیت رطوبت در زمان گلدهی و غلاف‌دهی، می‌تواند موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و سبب کوچک‌شدن اندازه و در نهایت کاهش وزن خشک دانه شود. کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن‌های موجود به‌عنوان یکی از اجزای محدودکننده عملکرد دانه شناخته شده است (Fahim-Nawaz *et al*., 2015).

عملکرد دانه

رژیم‌های مختلف آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش و همچنین اثر متقابل کاهنده‌های تعرق و تنش، اختلاف معنی داری در سطح یک‌درصد در عملکرد دانه داشتند. اثرات متقابل دوگانه رژیم آبیاری با کاهنده تعرق، رژیم آبیاری با کاهنده تنش و اثرات متقابل سه‌گانه آن‌ها در سطح پنج‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم در رژیم دوبار آبیاری بیشترین عملکرد دانه را ایجاد کرد و تفاوتی بین مصرف کلریدکلسیم و سلنات سدیم در این خصوص مشاهده نشد. در رژیم آبی مذکور محلول‌پاشی کیتوزان به همراه کلریدکلسیم نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی یا غلاف دهی و بدون‌آبیاری به‌ترتیب ۹۹، ۴۱ و ۳۱۲درصد افزایش در عملکرد دانه نشان داد (جدول ۵). در رژیم یک‌بار آبیاری مرحله غلاف‌دهی بین محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم و یا مصرف سلنات سدیم، محلول‌پاشی کائولین با مصرف کلریدکلسیم و مصرف انفرادی کلریدکلسیم تفاوتی وجود نداشت. رژیم یک‌بار آبیاری مرحله گلدهی که از لحاظ عملکرد دانه، عملکردی کمتر از رژیم یک‌بار آبیاری در مرحله غلاف-دهی داشت، با محلول‌پاشی کیتوزان به‌همراه کلریدکلسیم و یا سلنات سدیم، محلول‌پاشی کائولین به‌همراه کلریدکلسیم و یا سلنات سدیم و همچنین مصرف انفرادی کلریدکلسیم و سلنات سدیم اختلافی نداشت. رژیم بدون آبیاری نسبت به سایر رژیم-های آبیاری کمترین عملکرد دانه را داشت، ولی اثر مثبت محلول‌پاشی کیتوزان به همراه کلریدکلسیم در عملکرد دانه این رژیم آبی نیز مشخص بود (جدول ۵). کیتوزان تشدیدکننده مکانیسم‌های دفاعی گیاه بوده و رشد گیاه را در شرایط تنش ارتقاء می‌دهد و در کاهش تعرق از سطح برگ‌ها مؤثر است (Zhang, 2005). افزایش عملکرد دانه تحت تنش خشکی با کاربرد کیتوزان در لوبیا چشم‌بلبلی (Farouk *et al*., 2013) و عدس (Jan-Mohammadi *et al*., 2014) به اثبات رسیده

است. کائولین نیز با جلوگیری از افزایش دمای سطح برگ و کاهش تعرق می‌تواند با حفظ رطوبت گیاه در افزایش عملکرد دانه مؤثر باشد. گزارش شده است که کاربرد کائولین در لوبیا نیز موجب افزایش عملکرد دانه شده است (Yigitarslan, 2010). از سوی دیگر کلریدکلسیم نقش مهمی در حفظ ساختار و پایداری دیواره سلولی، تنظیم انتقال مواد و انتخاب-پذیری یونی و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و حذف رادیکال‌های آزاد در شرایط کمبود آب دارد که همگی در افزایش عملکرد دانه مؤثر می‌باشند (Rentel & Knight, 2004). در گیاه شبدر مصری مصرف کلریدکلسیم تحت تنش خشکی سبب افزایش تعداد گل‌آذین و عملکرد دانه شده است (Balwinder *et al*., 2013). سلنات سدیم به‌دلیل ترکیب سلنیم با پروتئین، تولید مواد سلنوپروتئین می‌کند که در تشکیل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مؤثر است، به‌طوری‌که در زمان تنش اکسیداتیو به‌خصوص تنش خشکی نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه ایفا می‌کند (Xue *et al*., 2001). در گندم نیز اثر مثبت سلنیم در افزایش عملکرد دانه به اثبات رسیده است (Sajedi *et al*., 2012).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک گیاهان مورد بررسی برای اثرات اصلی رژیم آبیاری، مواد کاهنده تنش، اثر متقابل کاهنده‌های تعرق با تنش و اثر متقابل رژیم آبیاری با مواد کاهنده تنش در سطح یک‌درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. برهم‌کنش رژیم آبیاری با کاهنده‌های تعرق و اثرات سه‌گانه عوامل مورد آزمایش نیز در سطح پنج‌درصد معنی‌دار بودند (جدول۳). میانگین داده ها نشان داد رژیم دوبار آبیاری به همراه محلول‌پاشی کیتوزان با سلنات سدیم بیشترین عملکرد بیولوژیک را تولید کرد (جدول ۵). در رژیم آبی مذکور محلول‌پاشی کیتوزان به همراه سلنات سدیم نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی، غلاف‌دهی و بدون‌آبیاری به‌ترتیب ۲۴، ۴۸ و ۱۴۲درصد افزایش در عملکرد بیولوژیک نشان داد (جدول ۵). در رژیم آبی مرحله غلاف‌دهی، محلول‌پاشی کیتوزان به همراه سلنات سدیم و یا کلریدکلسیم، محلول‌پاشی کائولین با مصرف سلنات سدیم و یا کلریدکلسیم و نیز مصرف انفرادی کلریدکلسیم و سلنات سدیم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در رژیم آبی مرحله - گلدهی محلول‌پاشی کیتوزان به‌همراه سلنات سدیم موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد، هرچند نسبت به رژیم یک‌بار آبیاری مرحله غلاف‌دهی۱۶درصد کاهش نشان داد. کمترین عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون آبیاری حاصل شد و محلول-پاشی کیتوزان به همراه سلنات سدیم و یا کلریدکلسیم، محلول‌پاشی کائولین به همراه سلنات سدیم و کلریدکلسیم و مصرف انفرادی کلریدکلسیم و سلنات سدیم تأثیر نسبتاً یکسانی در افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون آبیاری داشتند. افزایش عملکرد بیولوژیک با کاربرد کیتوزان در ذرت (Guan *et al*., 2009)، عدس (Jan- Mohammadi *et al*., 2014) طی تنش خشکی قبلاً گزارش شده است. کیتوزان با کاهش تعرق و جلوگیری از هدررفت انرژی موجب افزایش تجمع ماده خشک در گیاه می شود (Mondal *et al*., 2012). گزارش شده است که تحت شرایط تنش خشکی، کاربرد کائولین نیز در گیاه لوبیا عملکرد زیست توده را افزایش داده است (Yigitarslan, 2010). کائولین با انعکاس نور و کاهش دمای برگ از کاهش فتوسنتز گیاه جلوگیری کرده و سبب افرایش تولید ماده خشک در گیاه می‌شود. از سوی دیگر در تحقیقات به‌عمل‌آمده در گیاه گراس (Chengbin *et al*., 2013)، آفتابگردان (Nemat *et al*., 2011) و گندم (Ma *et al*., 2005) افزایش عملکرد بیولوژیک با کاربرد کلریدکلسیم تحت شرایط تنش آبی گزارش شده است. همچنین کلسیم با ایجاد سیگنال‌های القای مقاومت به خشکی در مکانیزم بسته‌شدن و تنظیم اندازه روزنه‌ها دخیل است (Hasegawa *et al*., 2000).

بر طبق مطالعات انجام‌شده در گیاه گندم طی تنش خشکی با کاربرد سلنات سدیم، عملکرد بیولوژیکی افزایش پیدا کرده است (Sajedi *et al*., 2012; Fahim-Nawaz *et al*., 2015). اظهار شده است که در چنین شرایطی سلنات سدیم از کاهش کلروفیل جلوگیری کرده و سبب بهبود فتوسنتز و تأخیر پیری برگ می‌شود، بنابراین در افزایش تجمع ماده خشک گیاه مؤثر است (Germ et al., 2007). در تحقیق حاضر در رژیم های دوبار آبیاری و همچنین یک‌بار آبیاری مرحله –گلدهی، مصرف سلنات سدیم نسبت به کلریدکلسیم سبب افزایش بیشتری در عملکرد بیولوژیک گیاه شد.

به‌طورکلی کمبود آب با تسریع در پیری برگ‌ها و کاهش سطح برگ سبب کاهش سرعت رشد نخود و عملکرد بیولوژیک می‌شود (Kanouni, 2003). در چنین شرایطی بهبود وضعیت رطوبتی گیاه موجب افزایش طول دوره رشد رویش، افزایش عمر مؤثر کانوپی و جذب فعال فتوسنتزی شده و منجر به افزایش وزن کل ماده خشک گیاه می‌گردد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت با رژیم آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش و اثرات متقابل رژیم آبیاری با مواد کاهنده تنش اختلاف معنی داری در سطح یک‌درصد داشت (جدول ۳). همچنین بین اثرات

متقابل مواد کاهنده تعرق و تنش، رژیم آبیاری با مواد کاهنده - تعرق و نیز اثرات متقابل سه‌گانه آن‌ها برای شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری در سطح پنج‌درصد به‌دست آمد (جدول ۳). رژیم دوبار آبیاری با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم با ۵۰/۳۲درصد بالاترین شاخص برداشت را در بین تیمارها داشت و نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی و بدون آبیاری به‌ترتیب ۳۳، ۱۵ و ۸۵درصد در این صفت افزایش مشاهده شد (جدول ۵). در رژیم یک‌بار آبیاری مرحله غلاف‌دهی محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم و یا مصرف سلنات سدیم و محلول‌پاشی کائولین با مصرف کلریدکلسیم تفاوتی از لحاظ شاخص برداشت نداشتند. شاخص برداشت در رژیم یک‌بار آبیاری مرحله گلدهی کمتر از شاخص برداشت رژیم یک‌بار آبیاری مرحله غلاف‌دهی بود و محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم و یا سلنات سدیم و محلول‌پاشی کائولین با مصرف کلریدکلسیم در رژیم آبی مذکور اختلافی نشان ندادند. رژیم بدون آبیاری (دیم) نسبت به سایر رژیم‌های آبیاری کمترین شاخص برداشت را داشت، ولی با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم افزایش شاخص برداشت در این رژیم مشاهده شد. هرچند محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم و یا سلنات سدیم و محلول‌پاشی کائولین با مصرف کلریدکلسیم و مصرف انفرادی کلریدکلسیم اختلافی با هم نشان ندادند (جدول ۵).

شاخص برداشت نشان‌دهنده میزان مواد انتقال‌یافته و ذخیره‌شده در دانه نسبت به کل مواد تولیدشده در دوران رشد رویشی و زایشی است. گزارش شده است که در گیاه عدس نیز کاربرد کیتوزان شاخص برداشت را تحت شرایط خشکی افزایش داده است (Jan-Mohammadi *et al*., 2014). کیتوزان با تأثیر بر پتانسیل آب گیاه، افزایش محتوای کلروفیل و اندازه کلروپلاست‌ها در سلول سبب بهبود فتوسنتز در برگ‌ها شده و در افزایش شاخص برداشت مؤثر است (Farouk *et al*., 2013). کائولین نیز در گیاه کتان (Gaballah & Abu- Leila, 2000) تحت تنش شوری و در لوبیا (Yigitarslan, 2010) تحت تنش خشکی سبب افزایش شاخص برداشت شده است. همچنین در گیاهان گراس (Chengbin *et al*., 2013) و سورگوم (Sadeghi-Lotf-Abadi *et al*., 2010) شاخص برداشت با کاربرد کلریدکلسیم و در گیاهان گندم (Fahim-Nawaz *et al*., 2015) و جو (Habibi, 2013) با کاربرد سلنات سدیم تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافته است. از سوی دیگر کاربرد کلریدکلسیم و سلنات سدیم با حفظ رطوبت و ارتقاء رشد گیاه، سبب افزایش عملکرد و انتقال مواد به دانه شده و در بهبود شاخص برداشت مؤثرند (Nemat *et.al*., 2011).

بیشینه شاخص سطح برگ

بیشینه شاخص سطح برگ برای رژیم آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش و نیز اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک‌درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۳). در رژیم دوبار آبیاری با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم بیشینه شاخص سطح برگ حاصل شد که نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی یا غلاف‌دهی و بدون آبیاری به‌ترتیب ۲۰، ۱۱ و ۵۲درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). در رژیم‌های یک‌بار آبیاری مراحل غلاف‌دهی و گلدهی محلول پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم بهترین تیمار برای بیشینه شاخص سطح برگ بود. در رژیم بدون آبیاری نسبت به سایر رژیم‌های آبی بیشینه شاخص سطح برگ کاهش بیشتری پیدا کرد و نسبت به رژیم یک‌بار آبیاری مرحله گلدهی در محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم، با افت ۲۱درصدی نشان داد که با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم و یا سلنات سدیم اختلافی نداشت (جدول ۵). گزارش شده است که کاربرد کیتوزان در لوبیا (Abu-Muriefah, 2013) و در بامیه (Mondal *et al*., 2012) و همچنین استفاده از کلریدکلسیم در گیاه تنباکو (Wei *et al*., 2011) و سلنات سدیم در گندم (Fahim-Nawaz *et al*., 2015) طی تنش خشکی، موجب افزایش شاخص سطح برگ شده است.

در تحقیق حاضر، بیشینه شاخص سطح برگ در رژیم دوبار آبیاری و یک‌بار آبیاری با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد با اعمال آبیاری در مراحل مهم رشد و کاربرد کیتوزان، شرایط برای افزایش رشد برگ‌ها در بوته فراهم گردیده که در نهایت افزایش سطح برگ در کانوپی را دربرداشته است.

بیشینه سرعت رشد گیاه

بیشینه سرعت رشد گیاه برای رژیم آبیاری، مواد کاهنده تعرق و تنش و نیز اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها در سطح یک‌درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). رژیم دوبار آبیاری با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم بیشینه سرعت رشد گیاه را داشت و نسبت به رژیم‌های یک‌بار آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی و بدون آبیاری به‌ترتیب ۳۱، ۱۹ و ۱۰۴درصد در این صفت افزایش نشان داد (جدول۵).

در رژیم یک‌بار آبیاری مرحله غلاف‌دهی محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم و یا سلنات سدیم اختلافی نشان ندادند. رژیم یک‌بار آبیاری مرحله گلدهی بیشینه سرعت رشد گیاه کمتری نسبت به رژیم یک‌بار آبیاری مرحله

غلافدهی داشت و محلول‌پاشی کیتوزان به همراه کلریدکلسیم اثر بهتری در سرعت رشد گیاه رژیم آبی مذکور گذاشت. در رژیم بدون‌آبیاری نسبت به سایر رژیم‌های آبی کاهش بیشتری در بیشینه سرعت رشد گیاه مشاهده شد. در این شرایط تیمار محلول‌پاشی کیتوزان با مصرف کلریدکلسیم نسبت به رژیم یک‌بار آبیاری مرحله گلدهی ۳۶درصد کاهش داشت (جدول۵).

کاربرد کیتوزان در گیاه لوبیا (Abu-Muriefah, 2013) و مصرف کائولین در گیاه زینتی *Polianthes tuberosa* (L.) (Moftah & Al-Humaid, 2005) سبب ارتقاء بیشینه رشد گیاه تحت تنش خشکی شده است. کاربرد مواد کاهنده تنش در کیاهان از جمله کلریدکلسیم در گیاه شبدر مصری (Balwinder *et al*., 2013) و سلنات سدیم در گیاه سیب زمینی (Germ *et al*., 2007)، تحت تنش آبی موجب افزایش پتانسیل آب گیاه، فتوسنتز و افزایش بیوماس و در نهایت سرعت رشد بیشتر در این گیاهان شده است.

در این آزمایش بیشینه سرعت رشد در گیاه در رژیم‌های دوبار آبیاری با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم به‌دست آمد. از آن جا که سرعت رشد سلول و به‌تبع آن سرعت رشد گیاه به فشار تورژسانس سلول و اتساع دیواره سلولی وابسته است، لذا سرعت رشد سلول با افزایش آب قابل دسترس افزایش یافت. قابل ذکر است فشار تورژسانس قبل از شروع رشد سلول، همان فشار آستانه یا بحرانی است که در بالاتر از آن سرعت رشد افزایش می‌یابد، هرچند سرعت آن بستگی به هدایت هیدرولیکی آب از غشاء سلولی دارد (Ahmadi & Siosemardeh, 2001). به‌نظر می رسد با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم و انجام آبیاری، فشار تورژسانس لازم برای حداکثر رشد گیاه بهتر فراهم شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به کاربرد مواد کاهنده تعرق و تنش در رژیم‌های مختلف آبیاری می‌توان چنین استنباط کرد که محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر کیتوزان به همراه مصرف پنج‌میلی مولار کلریدکلسیم در رژیم دوبار آبیاری (مراحل گل+غلاف)، یک‌بار آبیاری مرحله گلدهی و بدون‌آبیاری در تمامی صفات به جز تعداد دانه در غلاف و عملکرد بیولوژیک و در رژیم یک‌بار آبیاری مرحله غلاف‌دهی برای تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز تعداد دانه در غلاف بیشترین تأثیر را در رشد و عملکرد گیاه داشت. رژیم یک‌بار آبیاری در مرحله غلاف‌دهی نسبت به یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی و بدون آبیاری (دیم) با محلول‌پاشی کیتوزان و مصرف کلریدکلسیم به‌ترتیب سبب افزایش ۴۲ و ۱۹۲درصدی در عملکرد دانه شد. بنابراین با توجه به ضرورت گسترش کشت گیاه نخود در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و اقتصادی‌بودن ترکیبات مورد استفاده به عنوان مواد کاهنده تعرق و افزایش‌دهنده تحمل به تنش به ویژه برهم‌کنش مناسب کیتوزان با کلریدکلسیم، می‌توان از آن‌ها برای حفظ عملکرد مطلوب و کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی استفاده کرد. بر اساس نتایج حاصله پیشنهاد می‌شود درصورت وجود آب کافی از رژیم دوبار آبیاری (مراحل گل+غلاف) و در صورت کمبود آب از رژیم یک‌بار آبیاری در مرحله غلاف‌دهی ترجیحاً با محلول‌پاشی کیتوزان و کلریدکلسیم برای افزایش عملکرد رقم آزاد نخود استفاده شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت آموزشی و پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان همدان و مدیریت ایستگاه اکباتان و مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کشور که در پیشبرد این پژوهش نهایت همکاری و مساعدت را به عمل آوردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abu-Muriefah, S.S. 2013. Effect of chitosan on common bean (*Phaseolus valgaris* L.) plants grown under water stress conditions. International Research Journal of Agriculture Science and Soil Science 3(6): 192-199.
2. Ahmadi, A., and Siosemardeh, A. 2001. Crop Physiology.Tehran University Press. (In Persian).
3. Amuthavalli, D.A., and Sivasankara-Moorthy, S. 2012. Effect of calcium chloride on growth and biochemical constituents of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under salt stress. International Journal of Research in Botany 2(3): 9-12.
4. Balwinder, K., Yadvinder, S., Ram, H., and Sarlach, R.S. 2013. Enhancing seed yield and quality of Egyption clover (*Trifolium alexandrinum* L.) with foliar application of bio-regulators. Field Crops Research 146: 25-30.
5. Benami, A., and Ofen, A. 1984. Irrigation Engineering: Sprinkler, Trickle, Surface Irrigation : Principles, Design and Agricultural Practices. Irrigation Engineering Scientific Publications.

6. Chengbin, X., Xuemei, L., and Lihong, Z. 2013. The effect of calcium chloride on growth, photosynthesis, and antioxidan responses of (*Zoysia japonica* L.) under drought conditions. Plos One 8(7): 1-10.
7. Fahim-Nawaz, R., Ahmad, M.Y., Ashraf, E.A., and Waraich, S.Z.K. 2015. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. Ecotoxicology and Environmental Safety 113: 191-200.
8. Farouk, S., Amira, M.S., and Abdul, Q. 2013. Osmotic adjustment and yeild of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in response to drought stress and chitosan. Indian Journal of Applied Research 3(10): 1-6.
9. Gaballah, M.S., and Abou-Leila, B. 2000. The response of flax (*Linum usitatissimum* L.) plant grown under saline condition to gypsum application in addition to kaolin spray. Egyption Journal of Applied Science 15(1): 326-331.
10. Germ, M., Kreft, I., Stibilj, V., and Urbane-Bercic, O. 2007. Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato (*Solanum tuberosum* L.). Plant Physiology and Biochemistry 45(2): 162-167.
11. Glenn, D.M., and Puterka, G.J. 2005. Partide Films: A New Technology for Agriculture. Horticultural Reviews 31: 1-44.
12. Gupta, A.K., Singh, J., Kaur, N., and Singh, R. 1993. Effect of polyethlene-glycol induced water stress on uptake interconversion and transport of sugars in chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings. Plant Physiology and Biotechnology 31: 743-747.
13. Habibi, G. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). Acta Agriculture Slovenica 101(1): 31-39.
14. Hasegawa, P., Bressan. R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. 2000. Plant celluler and moleculer reponses to high salinity. Plant Molecular Biology 51: 463-499.
15. Ilkaei, M.N., Habibi, D., Pak-Nejad, F., and Goldozi, F. 2009. Effects of selenium spray in tolerance under water stress conditions in red beans (*Phaseoulus vulgaris* L.) different cultivars. Iran Breeding Plants and Agronomy 5(2): 61-71. (In Persian with English Summary).
16. Jaleel, C.A., Manivannan P., Sankar B., Kishorekamar, A., and Gopi, R. 2007. Water deficit stress mitigation by calcium chloride in cartharanthus roseus: effects on oxidative stress, proline metabalism and indole alkaloid accumulation. Colloids Surfaces B: Biointerfaces 60: 110-116.
17. Jan-Mohammadi, M., Mostafavi, H., Kazemi, H. 2014. Effect of chitosan application on the performance of lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes under rained conditions. Acta Technologica Agriculture 4: 86-90.
18. Kanouni, H. 2003. Study seed yield and some of effective traits on chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under water stress conditions in Kordestan. Iran. Crop Sciences 5(2): 146-152.
19. Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P., and Yagodin, B.A. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. Doklady Biological Sciences 390: 266-268.
20. Limpa-Navech, P., Chaiyasuta, S., Vongpromek, R., Pichyangkura, R., Khunwasi, C., and Chadehanwan, S. 2008. Effect of chitosan on floral production, gene expression and anatomical changes in the dendrobium orchid. Scientia Horticulture 116: 65-72.
21. Liu, F., Jensen, C.R., and Andersen, M.N. 2004. Pod set related to photosynthetic rate and endogenous abscisic acid in soybean (*Glycine max* L.) subjected to different water regimes and exogenous ABA and BA at early reproductive stages. Annual Botany 94(3): 405-411.
22. Ma, R., Zhang, M., Li, B., Du, G., Wang, J., and Chan, J. 2005. The effects of exogenous Ca^{2+} on endogenous polyamine levels and drought resistant traits of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under arid conditions. Journal of Arid Environments 63: 177-190.
23. Moftah, A.E., and Al-Humaid, A.I. 2005. Effects of Kaolin and pinolene film forming polymers on water relations and photosynthetic rate of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). Agricultural Sciences 18(1): 35-49.
24. Mondal, M.M.A., Malek, M.A., and Puteh, A.B. 2012. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Australiam Journal of Crop Science 6(5): 918-921.
25. Nemat, M., Hassan-Ahmed, K.A., and Saged, E.L. 2011. Molecular aspects in elevation of sunflower (*Helianthus annus* L.) tolerance to drought by boron and calcium foliar sprays. Acta Physiology Plant 33: 593-600.
26. Rab, A., and Haq, I-U. L. 2012. Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 36: 695-701.
27. Rentel, M.C., and Knight, M.R. 2004. Oxidative stress induced calcium signaling in Arabidopsis. Plant Physiology 135: 1471-1479.

28. Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: properties and application. Progress in Polymer Science 32: 603-632.
29. Sadeghi-Lotf-Abadi, S., Kafi, M., and Khazaei, H. R. 2010. Study effects moderating soil application and spraying KCl and $CaCl_2$ on the morphological and physiological in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in salt stress conditions.Water and Soil Agricultural Industrial and Sciences 24(2): 385-393. (In Persian with English Summary).
30. Sajedi, N.A. 2012. Study of effect selenium and salicylic acid on remobilization, current photosynthesis, and seed yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties in dry land conditions. Crop Production in Environmental Stress Conditions 4(1): 1-14. (In Persian with English Summary).
31. Saman, M., Sepehri, A., Ahmadvand, G., and Sabaghpour. S.H. 2006. Effect of irrigation on growth and yield of four cultivars chickpea (*Cicer arietinum* L.) in grain filling and podding stages. Journal of Agriculture Research 7: 1-15. (In Persian with English Summary).
32. Wei, T., Qingwei, M., Marian, B., Katarina, Q., and Xinghong, Y. 2011. Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat stressed tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). Journal of Plant Phsiology 168: 2063-2071.
33. Xue, T.L., Hartikainen, H., and Pironen, V. 2001. Antioxidative and growth promating effects of selenium on scenesing lettuce (*Lactuca sativa* L.). Plant and Soil 273: 55-61.
34. Yigitarslan, U. 2010. Graduate School of Natural and Applied Sciences. MSc. Thesis. University of Ankara, Turkey.
35. Zhang, M. Q. 2005. The Molecular Physiology and Genetic Improvement. Beijing: Science Press.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 178-192 (Research Article)

Effect of Kaolin, Chitosan, Chloride Calcium and Selenat Sodium on growth, grain yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under supplemental irrigation

Mohammadi[1], H., Sepehri[2*], A. & Sabaghpour[3], S.H.

1. PhD. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, houmanagri1@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
3. Professor, Agronomy and Horticulture Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, sabaghpour@yahoo.com

Received: 1 February 2018
Accepted: 22 May 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.69438

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important grain legumes, which is cultivated in most parts of the world, especially in arid and semi-arid regions because of its strategic importance in plant protein production. Among environmental stresses, drought stress limits plant growth and crop production more than any other factor. Many reports indicate that drought stress at the end of the season is the cause of a severe decrease in grain yield of chickpea in most regions, especially in Iran. Terminal drought, depending on the geographical area and weather conditions reduces 30 to 60 percent of the yield. With the improvement of crop management methods, such as breeding methods and using drought stress tolerant cultivars, it is possible to ameliorate the reduction of yield due to drought stress. On the other hand, application of supplemental irrigation at some stages of plant growth is a management factor for improvement, stability and finally reduction of risk for crop production under drought stress conditions. By increasing the intensity of drought stress, the plant development stages occur faster and the number of days to flowering, podding and maturation decreases. Drought stress decreases the area and weight of leaves. The results of the experiments indicated that drought stress caused a significant decrease in grain yield and yield components of chickpea. One way to reduce the adverse effects of drought stress on plants is reducing transpiration rates. In recent years, transpiration alleviator substances have been considered as a solution to reduce water losses from plant, because they reduce the rate of water vapor release from the leaves. Also, stress ameliorator substance such as calcium chloride and sodium selenate play an important role in adaptation of cells to abiotic stresses and increase the activity of antioxidants anzymes and photosynthesis through water absorption, root growth and maintaining turgor pressure in plant cells. The aim of this study was to investigate kaolin and chitosan as transpiration alleviator substances as well as calcium chloride and sodium selenate stress ameliorators on growth, yield and yield components of Azad chickpea cultivar under different irrigation regimes.

Materials & Methods

Effects of kaolin, chitosan and drought stress ameliorators on crop growth rate, grain yield and yield components of chickpea were investigated under supplemental irrigation at Hamedan Agricultural and Natural Resources Research Center during 2014-2015 growing season. A factorial split plot experiment basesd on a completely randomized block design with three replications were used. Three supplemental irrigation regimes, including irrigation at flowering stage, irrigation at podding stage and two irrigation flowering+podding stages with non irrigation (rainfed) in main plots and transpiration alleviator substances (kaolin 5%, chitosan 200 mlL^{-1}) and stress ameliorators (chloride calcium 5 mM, selenat sodium 40 mlL^{-1}) with non spray (control) treatments as factorial were placed in sub plots. Seeds were cultivated with 30 cm row spacing and 31 plants per m^2 density at 5 cm depth of soil on March 5th. Application of stress ameliorators was performed in two stages before and after flowering. Spraying of anti-transpirations substances in the middle of the pudding stage was done by hand sprayed on the leaves. During this

*** Corresponding Author:** sepehri2748@gmail.com

investigation, maximum leaf area index, maximum crop growth rate, biological yield, grain yield, yield components and harvest index of chickpea (var. Azad) were studied.

Results & Discussion

The results showed that the main effects of irrigation levels and transpiration alleviator substances in all studied traits, except to biological yield, also drought stress ameliorators except for seed number per pod were significant at the 1% level. The two and three interactions between studied factors were significant for different traits except to the number of seeds per pod. Foliar application of chitosan and calcium chloride in one irrigation at podding stage compared to irrigation at flowering stage or without irrigation (rainfed) increased seed yield by 42% and 192%, respectively. Also, spraying of chitosan with calcium chloride in two supplemental irrigation regime increased the grain yield comperad to one irrigation regimes at flowering or podding and rainfed by 99%, 41% and 312%, respectively. Two irrigation regimes with chitosan spray and calcium chloride consumption had the highest harvest index (50.3%) and in comparison to one irrigation regimes at flowering or podding and rainfed increased harvest index by 33%, 15% and 85%, respectively. Two irrigation regimes with chitosan and calcium chloride application had the maximum crop growth rate of plant and in comparison to one irrigation regime at flowering, podding stages and rainfed increased by 31%, 19% and 104%, respectively. In the two irrigation regimes with chitosan foliar and calcium chloride consumption, the maximum leaf area index was increased as compared to single irrigation regimes in flowering or podding stages and without irrigation.

Conclusion

Based on the present study, if sufficient water is available, it is preferable to use a double irrigation regime at flower and pod stages or at least a single irrigation regime in the podding stage with the spray of chitosan and calcium chloride to increase the grain yield of the chickpea (var. Azad) is recommended.

Keywords: Crop growth rate, Harvest index, Irrigation regime, Stress ameliorators, Transpiration alleviator